Wiedza i doświadczenie projektowe wizytówką absolwenta kierunku automatyka i robotyka na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej

POKL.04.01.02-00-020/10

Program Operacyjny Kapitał Ludzki współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego

---

Gliwice, 5.X.2012r.

Międzywydziałowe Koło Naukowe High Flyers
Wydział Automatyki Elektroniki i Informatyki
Kierunek Automatyka i Robotyka

Sprawozdanie z realizacji projektu:

Autopilot I

Zespół projektowy:

Agnieszka Ziebura **(lider projektu)**		Artur Piernikarczyk	
Ewa Biernacka		Adam Szewczyk	
Kamila Iwańska		Łukasz Szczurowski	
Maksymilian Byliński		Andrzej Szmajnta	
Piotr Dyga		Tomasz Targiel	
Piotr Holeksa		Jan Tlałka	
Karol Jabłoński		Marcin Wenglorz	
Jacek Janta		Wojciech Widenka	
Jakub Kała		Łukasz Wójtowicz	
Oliver Kurgan		Mateusz Markowicz (konsultant projektu)	
Patryk Nocoń		Michał Ożga (konsultant projektu)	
Korneliusz Osmenda		Dominik Wybrańczyk (konsultant projektu)	
Podpis opiekuna Koła Naukowego			

1. Opis projektu.

1.1. **Cel projektu:** Zaprojektowanie, wykonanie i przetestowanie układu elektronicznego autopilota dla bezzałogowej platformy latającej. Wykorzystanie autopilota do zbierania danych z lotu platformy latającej.

1.2. **Założenia projektu:** Podczas prac wykorzystano projekty zrealizowane w poprzednim semestrze:

- *Badanie czujników inercyjnych oraz opracowanie czujnika AHRS.*
- *Analiza, testowanie oraz przygotowanie czujników dla bezzałogowych platform latających.*
- *Dobór i badania modułów nawigacji satelitarnej z przeznaczeniem do bezzałogowych platform latających.*
- *Dobór i badania silników, serwomechanizmów oraz układów zasilania z przeznaczeniem do bezzałogowych platform latających.*

Projekt *Autopilot I* jest kontynuacją wymienionych wyżej projektów.

1.3. **Oczekiwane wyniki:** Wynikiem prac przeprowadzonych w ramach projektu jest układ autopilota, którego efektywność działania była sprawdzana podczas testów w locie na prototypowej platformie latającej.

1.4. **Ocena ryzyka projektu:** Zakładając realizację projektu przez osoby o różnym stopniu zaznajomienia ze specjalistycznym sprzętem, istniało ryzyko związane z uszkodzeniem platformy latającej oraz niektórych elementów elektronicznych. Uwzględniając natomiast dotychczasowe zaangażowanie uczestników projektu w ramach prac w strukturach koła naukowego, ich ogólną chęć poszerzania wiedzy, dodając do tego współpracę z opiekunami naukowymi oraz konsultantami projektu, ryzyko niezrealizowania celów projektowych było minimalne.

2. Podział projektu na zadania.

2.1. Zaprojektowanie i wykonanie układu elektronicznego dla prototypowej platformy latającej

Osoby odpowiedzialne: Maksymilian Byliński – kierownik prac, Korneliusz Osmenda, Artur Piernikarczyk, Jakub Kała.
Konsultanci: Dominik Wybrańczyk, Marcin Janik.

2.1.1. <u>Określenie wymagań funkcjonalnych i sprzętowych projektowanej platformy sprzętowej</u>

Głównym założeniem podczas projektowania płyty autopilota było jej kompleksowe wyposażenie oraz uniwersalny kształt, który pozwalałby na wykorzystanie płyty w późniejszych projektach koła naukowego.

Biorąc pod uwagę ilość miejsca w kadłubie płatowca, a także przystosowanie do zamontowania płyty autopilota na ramie wielowirnikowca, określono kształt i rozmieszczenie otworów montażowych płyty.
Podczas doboru modułów umieszczonych na płycie autopilota zespół wzorował się na rozwiązaniach komercyjnych oraz brał pod uwagę wymagania stawiane przez organizatorów zawodów MIWL 2012.
Wymaganiem podczas doboru wyposażenia autopilota była możliwość określenia aktualnego położenia obiektu za pomocą kątów Eulera, położenia geolokacyjnego, wysokości na której znajduje się obiekt, stanu rozładowania baterii oraz zapewnienia bezprzewodowej komunikacji obiektu ze stacją naziemną.

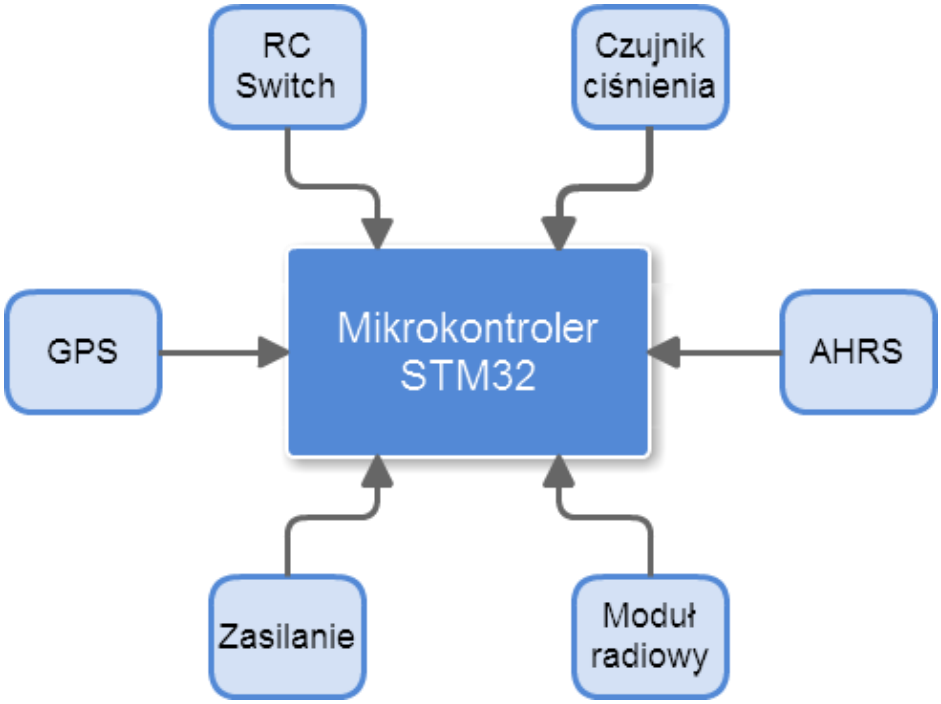
2.1.2. Wybór elementów koniecznych do budowy autopilota

Układ elektroniczny autopilota składa się z następujących elementów:

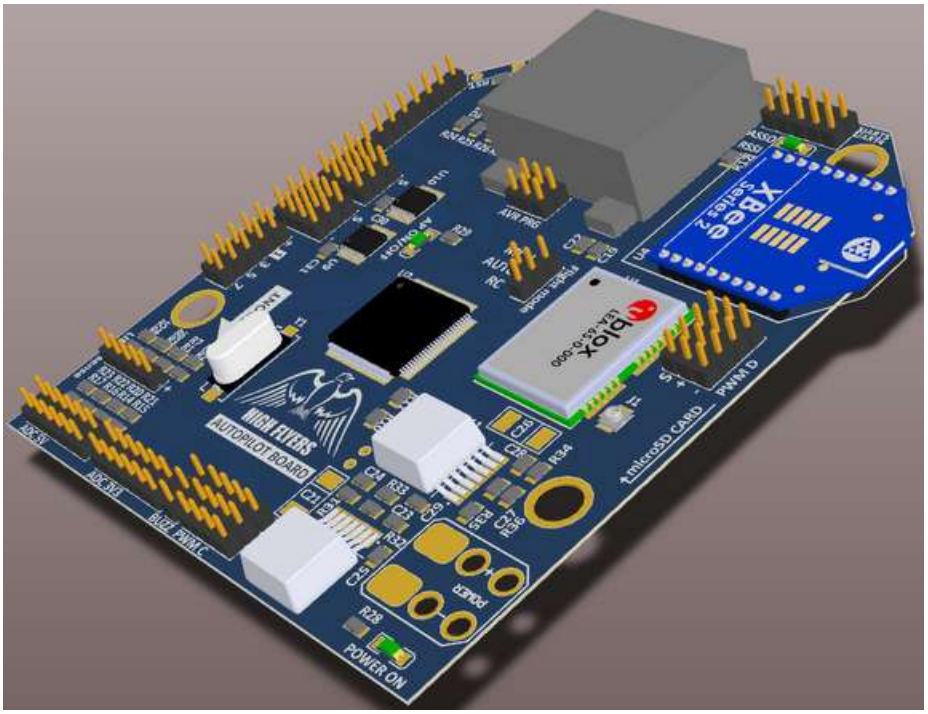
- Dwa czujniki położenia (AHRS ang. Attitude and Heading Reference Systems) – gotowy moduł CHR-UM6 firmy CH Robotics oraz zestaw czujników minIMU9, który dostarcza tylko surowe dane z akcelerometrów, żyroskopów i magnetometru. Protokoły komunikacyjne UART i I^2C.
- Czujnik ciśnienia – zastosowano czujnik BMP085 firmy Bosch, który pozwala na pomiar ciśnienia atmosferycznego i obliczenie wysokości na której znajduje się bezzałogowy obiekt latający. Protokół komunikacyjny I^2C.
- Moduł GPS – wykorzystano GPS firmy Ublox, który w kompleksowy sposób dostarcza bieżących informacji geolokacyjnych dla jednostki centralnej. Protokół komunikacyjny UART.
- Moduł RC-Switch – pozwala na niezależne od jednostki centralnej przełączenie sterowania z trybu automatycznego na manualny i na odwrót.
- Moduł komunikacji radiowej – wybrano moduły xBee PRO, które zapewniają komunikację stacji naziemnej z bezzałogowym obiektem latającym. Protokół komunikacyjny UART.
- Jednostka centralna – została zbudowana z mikrokontrolera STM32F103 wyposażonego w rdzeń Cortex-M3. Zainstalowano system czasu rzeczywistego FreeRTOS dzięki czemu na miniaturowym kontrolerze osiągnięto możliwość zaprojektowania bezpiecznego, stabilnego i wielowątkowego systemu operacyjnego.

2.1.3. Zaproponowanie projektu platformy sprzętowej uwzględniającego późniejszy jej rozwój

Płytę autopilota zaprojektowano w oparciu o doświadczenia z poprzednich projektów koła naukowego używając programu Altium Designer. Schemat blokowy płyty autopilota znajduje się na poniższym rysunku:



Wizualizacja 3D płyty autopilota:



2.1.4. Wykonanie platformy sprzętowej

Poniżej znajduje się zdjęcie wykonanej płyty autopilota:

2.2. Zaprojektowanie prototypowej platformy latającej

Osoby odpowiedzialne: Patryk Nocoń – kierownik prac, Jan Tlałka, Wojciech Widenka, Adam Szewczyk, Marcin Wenglorz.
Konsultanci: Krzysztof Płatek, Marcel Smoliński.

2.2.1. Określenie wymagań platformy latającej

Określenie typu projektowanej platformy:

Projektowany układ został stworzony w konfiguracji motoszybowca – górnopłata z usterzeniem krzyżowym (wyposażonym w pływający ster wysokości), który jest napędzany silnikiem elektrycznym umieszczonym w dziobie kadłuba wraz ze składanym śmigłem ciągnącym.

Motoszybowiec – to odmiana szybowca wyposażona w silnik umożliwiający samodzielny start. Od klasycznego szybowca odróżnia się też podwoziem umożliwiającym samodzielne starty (zwykłe

szybowce w trakcie startu muszą być wspomagane przez obsługę naziemną). W odróżnieniu od samolotu, silnik w motoszybowcu nie stanowi głównego źródła napędu, a jedynie napęd pomocniczy używany do startu oraz w lotach bez warunków termicznych. Do napędu motoszybowców używa się głównie silników spalinowych o mocy poniżej 100 KM, ostatnio również silników elektrycznych.

Wybór ten wynika z faktu, iż motoszybowce zużywają mniej energii by utrzymać się w powietrzu aniżeli samolot, którego praca silnika jest ciągła. Skrzydła o dużej rozpiętości pozwalają na długi lot z wyłączonym napędem. Ponadto duża rozpiętość skrzydeł pozwala na stabilny lot nawet przy silnym wietrze.

Określenie szczegółów dotyczących budowy płatowca:

- Dziób wraz z demontowaną kabinką
- Belka ogonowa wraz ze stałym sterem kierunku
- Dwie lustrzane połówki pływającego steru wysokości
- Lewa połowa centropłata
- Prawa połowa centropłata
- Bagnet węglowy do centropłata
- Lewe ucho z lotką
- Prawe ucho z lotką
- Dwa węglowe bagnety łączące uszy z centropłatem
- Dwa pręty węglowe łączące połówki steru wysokości

Wyznaczenie środka ciężkości:

Ustalono, iż wyważenie powinno znajdować się w okolicy ⅓ średniej cięciwy skrzydła dla najlepszego szybowania w trakcie przelotów na niskich obrotach silnika.

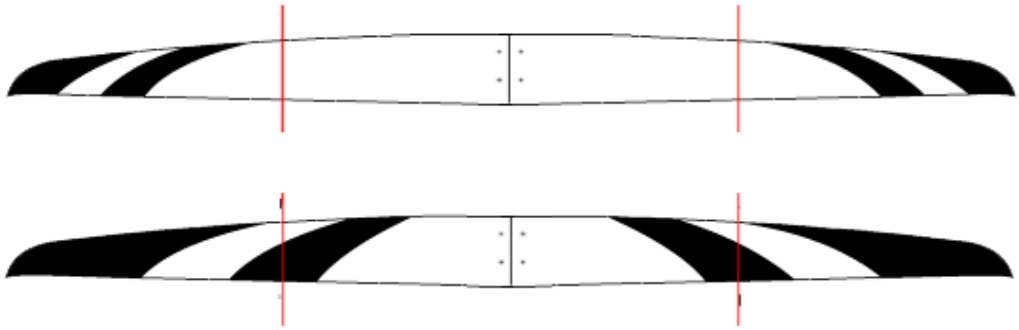
2.2.2. <u>Projekt platformy latającej</u>

Podstawowe dane geometryczne i masowe platformy:

- Rozpiętość: 3500 mm
- Długość: 1680 mm
- Wysokość: 430 mm
- Masa do lotu: około 5 kg
- Profil płata: MH32
- Kąt natarcia płata: 2°
- Wznios centropłata: 1.5°
- Wznios na uszach: 3°
- Powierzchnia nośna skrzydeł: 67 dm2
- Obciążenie pow. nośnej płatowca: około 76,2 g/dm^2

Opis struktury nośnej i podziałów płatowca:

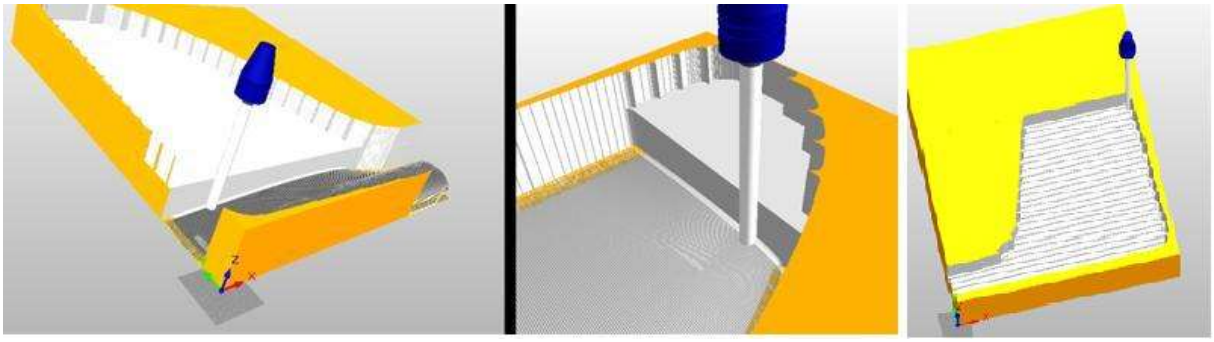
Zaprojektowano skrzydło o rozpiętości 3500mm, które docelowo składać ma się z 4 części łączonych za pomocą bagnetów.



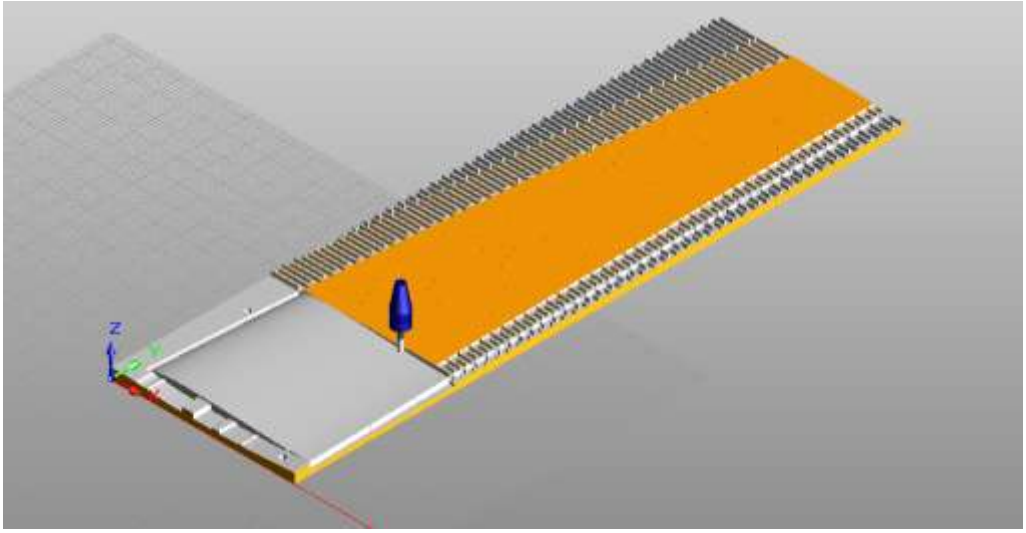
Opis zabudowy systemów pokładowych platformy latającej:

Budowa Kadłuba:

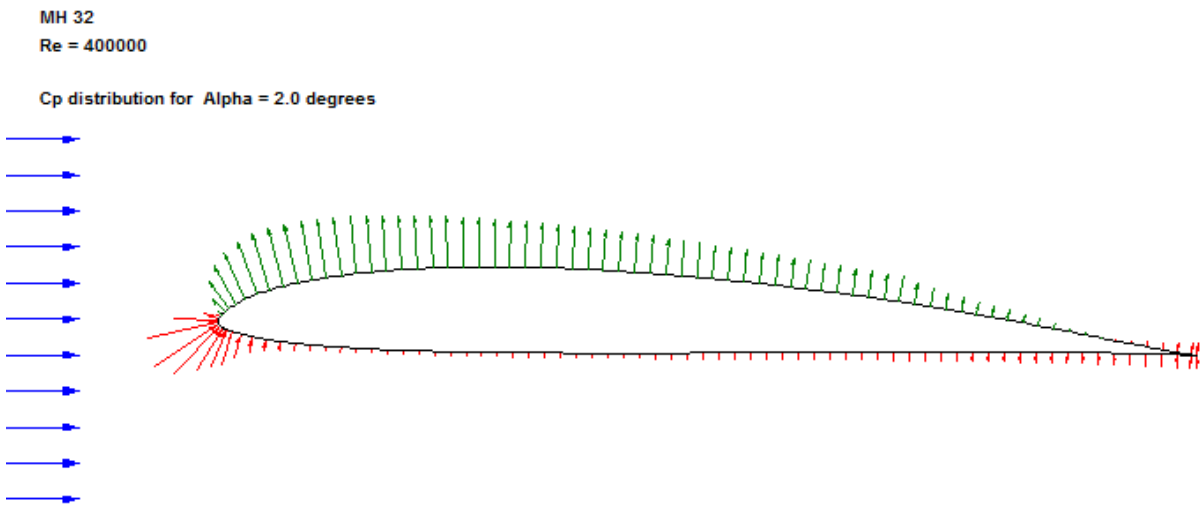
Podczas projektowania kadłuba kierowano się zasadami aerodynamiki i estetyki lotniczej, co w efekcie dało jego opływowy kształt. Otrzymano kadłub o pojemnej części dziobowej i smukłej belce ogonowej. Kształt i profil statecznika pionowego dobrano tak, by mógł w sobie pomieścić serwomechanizmy służące do napędu sterów wysokości i kierunku.
Na podstawie utworzonego numerycznego modelu 3D stworzono specjalnie dostosowane do 3-osiowej frezarki numerycznej programy (tzw. g-code'y).

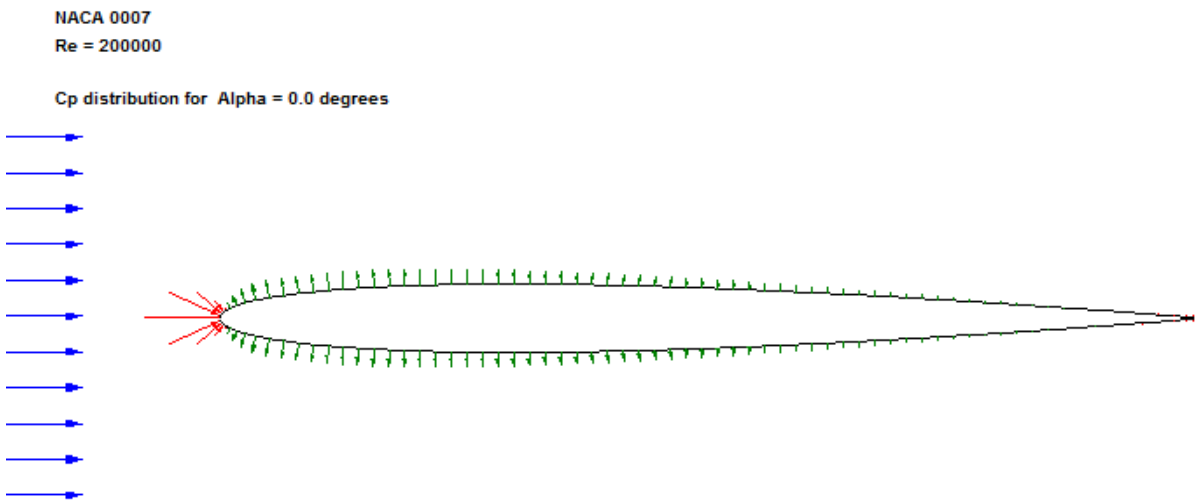


Budowa Skrzydła:
Zaprojektowano skrzydło w programie CAD, a następnie stworzono model dla obrabiarki CNC:



Profile i skrzydła statecznika:





2.3. Testowanie autopilota z wykorzystaniem platform latających

Osoby odpowiedzialne: Tomasz Targiel – kierownik prac, Ewa Biernacka, Kamila Iwańska, Karol Jabłoński, Jacek Janta, Piotr Holeksa, Łukasz Wójtowicz.

2.3.1. Stacjonarne testy laboratoryjne podzespołów układu autopilota

Testy naziemne bez samolotu:

Pierwszym etapem testowania autopilota było sprawdzenie działania jego wszystkich układów elektronicznych oraz zintegrowanych systemów. Jednym z priorytetów było sprawdzenie połączenia z aplikacją GCS (Ground Control Station) z użyciem modułu xBee. Dokonano także wstępnej kalibracji modułu AHRS, a także sprawdzono, czy na wyprowadzeniach przeznaczonych do sterowania płatowcem pojawiają się odpowiednie sygnały. Po dokonaniu niewielkich poprawek wszystkie testy wypadły pozytywnie.

Testy naziemne z użyciem samolotu:

Autopilot został wstępnie zintegrowany z modelem depronowym Easy Fly wykonanym z pianki EEP. Pierwsze testy polegały na nakierowywaniu autopilota na różne współrzędne geograficzne, znajdujące się w różnych kierunkach względem aktualnego, niezmiennego położenia płatowca. Następnie sprawdzano kąty wychylenia powierzchni sterowych i porównywano je z oczekiwanymi, wyliczonymi na podstawie zadanych współrzędnych.

2.3.2. Testy łącza komunikacyjnego

System łączności, który zapewnia niezakłóconą wymianę danych z obiektem bezzałogowym jest pozycją kluczową, dlatego przeprowadzono dokładne testy modułów, które spełniały założenia projektu.

Pierwszym z testowanych modułów był moduł Free2Move F2M03GX. Używając anten dookólnych nie udało się osiągnąć zadowalającego zasięgu. Pojawiły się również problemy z rozłączaniem modułów i długotrwałym ponownym ich parowaniem, co wyeliminowało te moduły Bluetooth.

Kolejną opcją były moduły oparte o protokół komunikacyjny ZigBee szeroko opisane w rozdziale „Łączność obiektu z naziemną stacją kontroli lotów (data link)”. W pierwszej kolejności przetestowano moduły xBee (zgodne z protokołem ZigBee) operujące na częstotliwości 2.4 GHz o mocy 10mW. Przepustowość danych w modułach xBee 2.4GHz jest wystarczająca, jednak zasięg modułów był mniejszy niż F2M03GX, dlatego ta opcja także została odrzucona.

Kolejnymi testowanymi modułami były zgodne z protokołem ZigBee moduły xBee-PRO operujące na częstotliwości 868MHz z mocą nadawania 315mW. Na poniższym rysunku przedstawiono testy

łącza radiowego w bardzo trudnych miejskich warunkach, moduły xBee-PRO 868MHz potrafią komunikować się na odległość 2,5 km przy zastosowaniu anten dookólnych.

Transmisja wizji realizowana jest osobnym torem radiowym działającym na częstotliwości 1,2 GHz, jest to gotowy moduł, który posiada przetestowany zasięg 2 km.

2.3.3. Testy w warunkach rzeczywistych na platformach latających

Testy autopilota na modelu Easy Fly odbyły się na lotnisku w Gliwicach. Ich celem było sprawdzenie praktycznej funkcjonalności systemu podczas lotu. Zadaniem autopilota było pokierowania płatowcem tak, aby przelatywał przez kolejne punkty (tzw. waypointy) zadane przy użyciu aplikacji GCS. Kluczowymi czynnikami, decydującymi o wyniku przebiegu testu były zdolność autopilota do osiągania kolejnych współrzędnych geograficznych z zadaną dokładnością, poprawne przechodzenie do kolejnych waypointów, optymalność wybranej przez system trajektorii lotu oraz jej powtarzalność. Nad całością czuwał doświadczony pilot modeli samolotów gotowy w każdym momencie odłączyć układy autopilota i przejść na sterowanie ręczne.
Samolot poprawnie osiągał kolejne współrzędne geograficzne dobierając najkrótszą drogę, na jaką pozwalały parametry aerodynamiczne, a także był w stanie bez problemu powtórzyć przelot tą sama trasą.

2.4. Testowanie modułu autopilota odpowiedzialnego za wyznaczanie pozycji i orientacji platformy latającej

Osoby odpowiedzialne: Oliver Kurgan – kierownik prac, Agnieszka Ziebura, Łukasz Szczurowski, Andrzej Szmajnta, Piotr Dyga.
Konsultant: Michał Ożga.

2.4.1. Obsługa i oprogramowanie systemu nawigacyjnego opartego o GPS

Zadaniem zespołu było zaprojektowanie algorytmów przetwarzających surowe dane przesyłane przez odbiornik GPS w celu dalszego ich wykorzystania do określania bieżącej pozycji oraz orientacji bezzałogowej platformy latającej. Następnym krokiem było opracowanie algorytmu działania prostej nawigacji zdolnej poprowadzić obiekt latający po linii prostej do punktu o zadanych współrzędnych geograficznych.

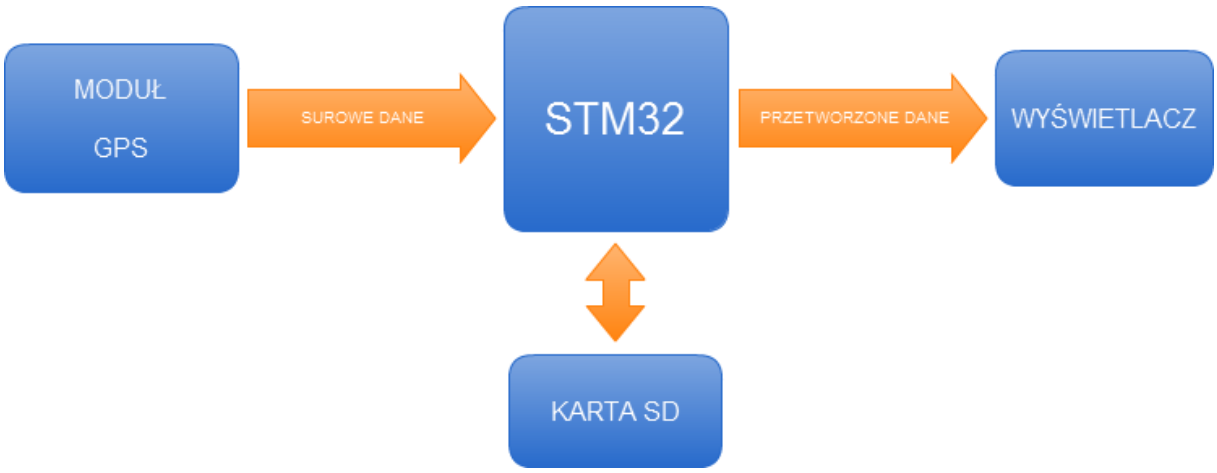
Układ testowy

Opracowywane algorytmy zaimplementowano na mikrokontrolerze STM32 F107VCT6 firmy STMicroelectronics.

Podstawowe dane techniczne mikrokontrolera:

- Rdzeń: ARM 32-bit Cortex-M3
- Częstotliwość taktowania: 72 MHz
- Pamięć flash: 256 kB
- Pamięć SRAM: 64 kB
- Napięcie zasilania: 2.0 – 3.6 V
- Interfejs debugowania: JTAG lub SWD

Odbiornik GPS komunikuje się z powyższym procesorem za pomocą interfejsu szeregowego USART. W celu zrealizowania funkcji zapisywania otrzymywanych danych oraz dostarczania punktów nawigacyjnych użyto karty SD (*ang. Secure Digital*). Na wyświetlaczu LCD natomiast na bieżąco przedstawiane są przetworzone dane nawigacyjne.



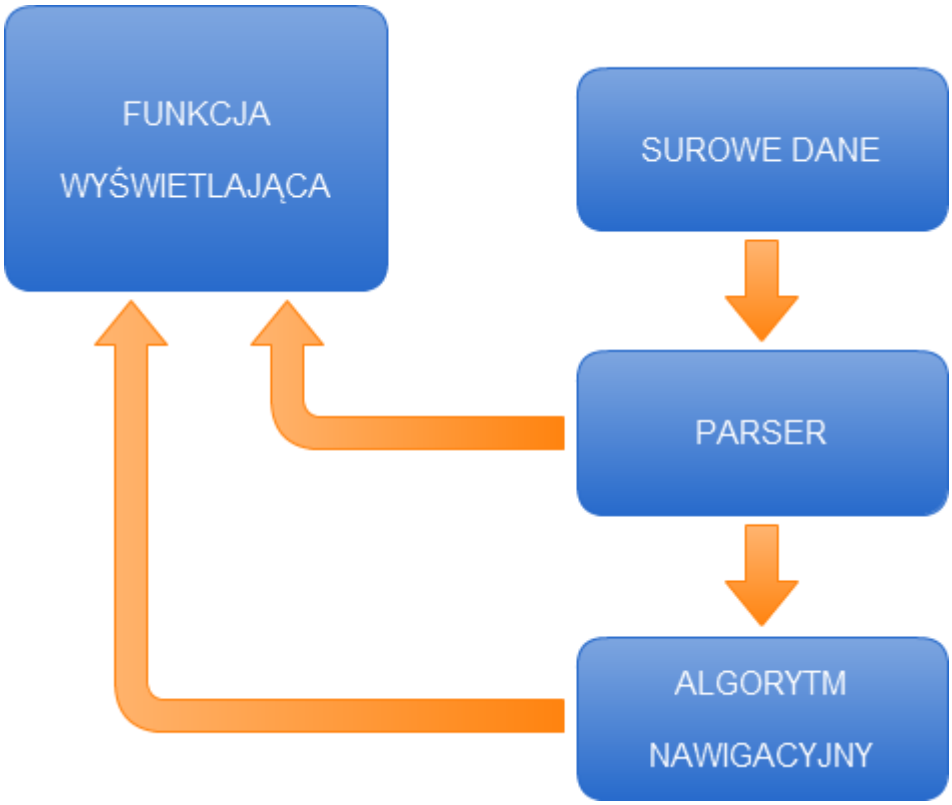
Algorytm

Jednym z najważniejszych założeń dotyczących utworzonych algorytmów była ich uniwersalność. Dzięki temu cały system można bezproblemowo zaimplementować na innym kontrolerze z rodziny

procesorów STM32 lub nawet na platformie innego producent (procesory AVR z serii ATmega).
W trakcie opracowywania kodu programu realizującego założone cele zadbano o jego prostotę i łatwość w zrozumieniu przez osoby trzecie.
Opracowany program może pracować w dwóch trybach:

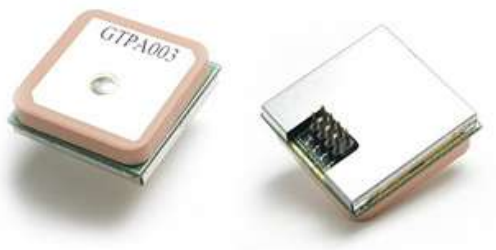
- Parser – w tym trybie dane otrzymywane przez procesor z odbiornika GPS są przetwarzane i wyświetlane na ekranie LCD. Użytkownik dostaje informacje na temat aktualnego położenia (współrzędne geograficzne) i prędkości obiektu latającego. Może również zapoznać się z jakością połączenia odbiornika GPS z satelitami – tzw. FIX
- Navigation – w tym trybie dane z odbiornika GPS podlegają takiej samej obróbce jak w trybie Parser, a następnie zostają wykorzystane do obliczeń związanych z działaniem modułu nawigacyjnego odpowiedzialnego za wyznaczenie kierunku, w jakim należy się poruszać oraz odległości do punktu docelowego. Punkty te zaś są zapisywane na karcie SD

Poniżej znajduje się schemat obrazujący działanie modułu GPS:

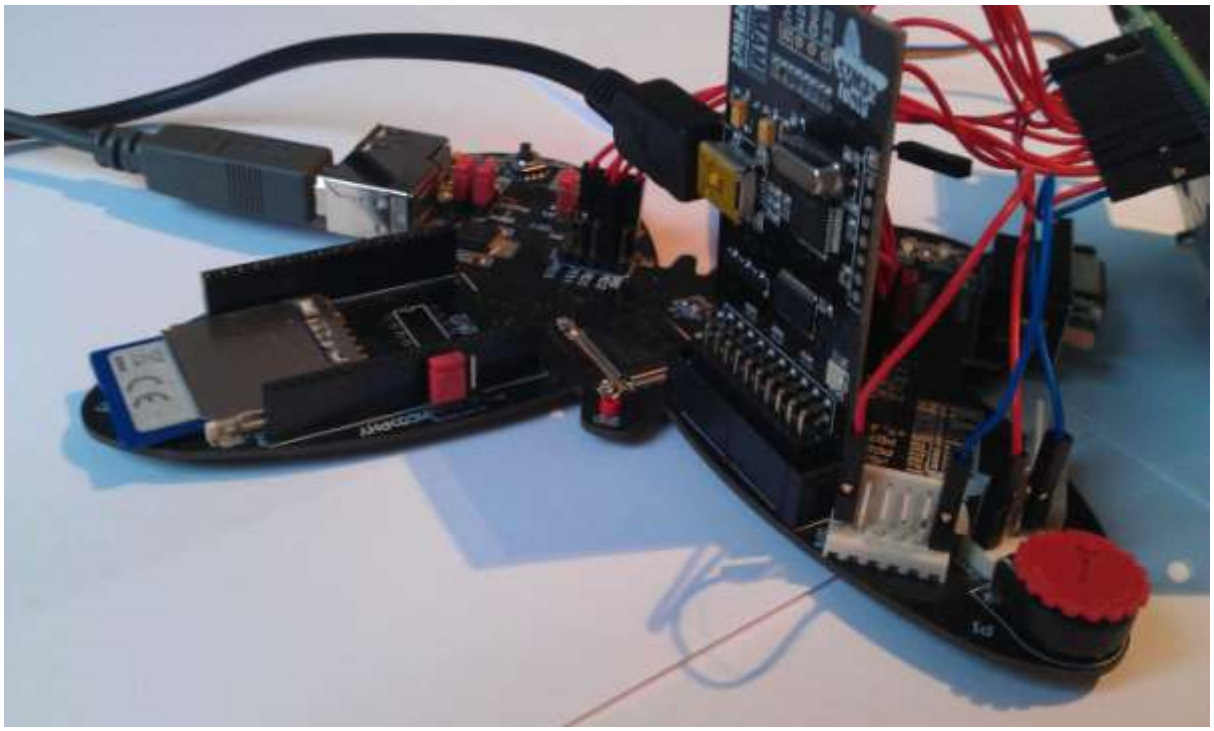


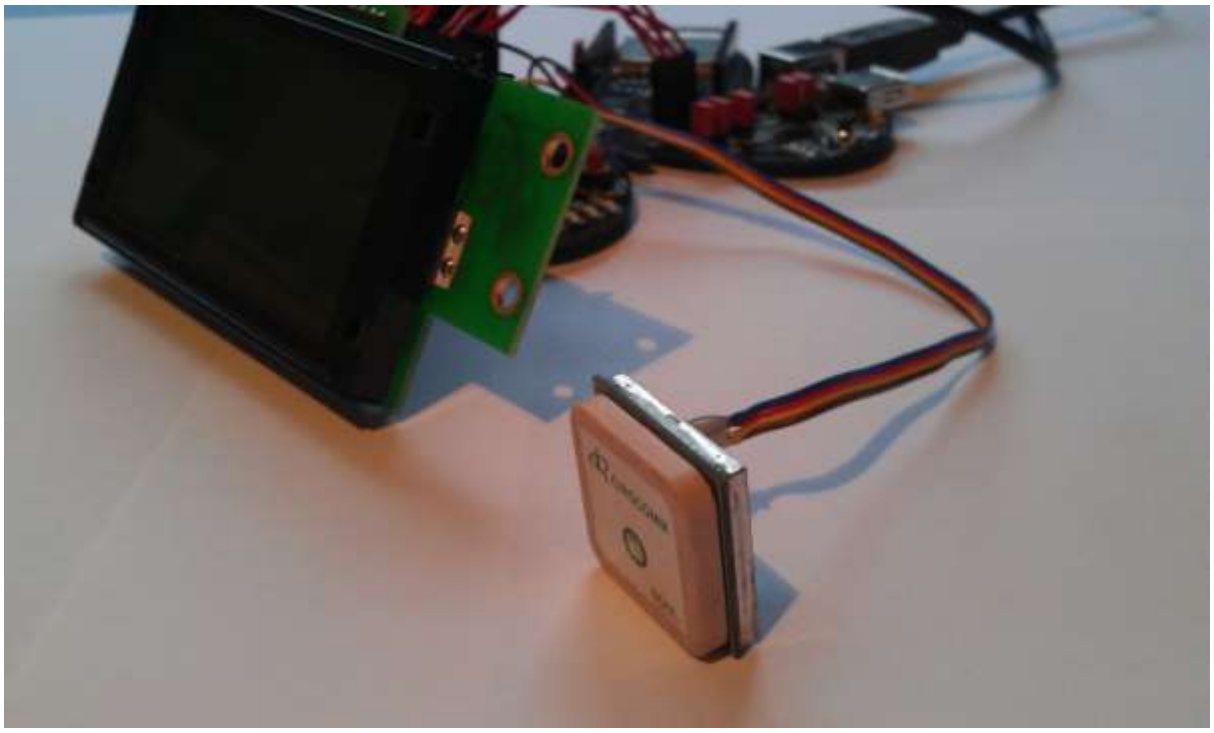
Testy
Po ukończeniu prac nad algorytmami zostały przeprowadzone testy mające na celu sprawdzenie wiarygodności obliczeń wykonywanych przez mikrokontroler.
Elementy układu testowego:

- Zestaw uruchomieniowy STM32Butterfly2 z mikroprocesorem STM32 F107VCT6
- Wyświetlacz LCD 128x64 oparty na sterowniku KS0108
- Moduł GPS FGPMMOPA4



Poniższe zdjęcia przedstawiają zmontowany układ testowy:

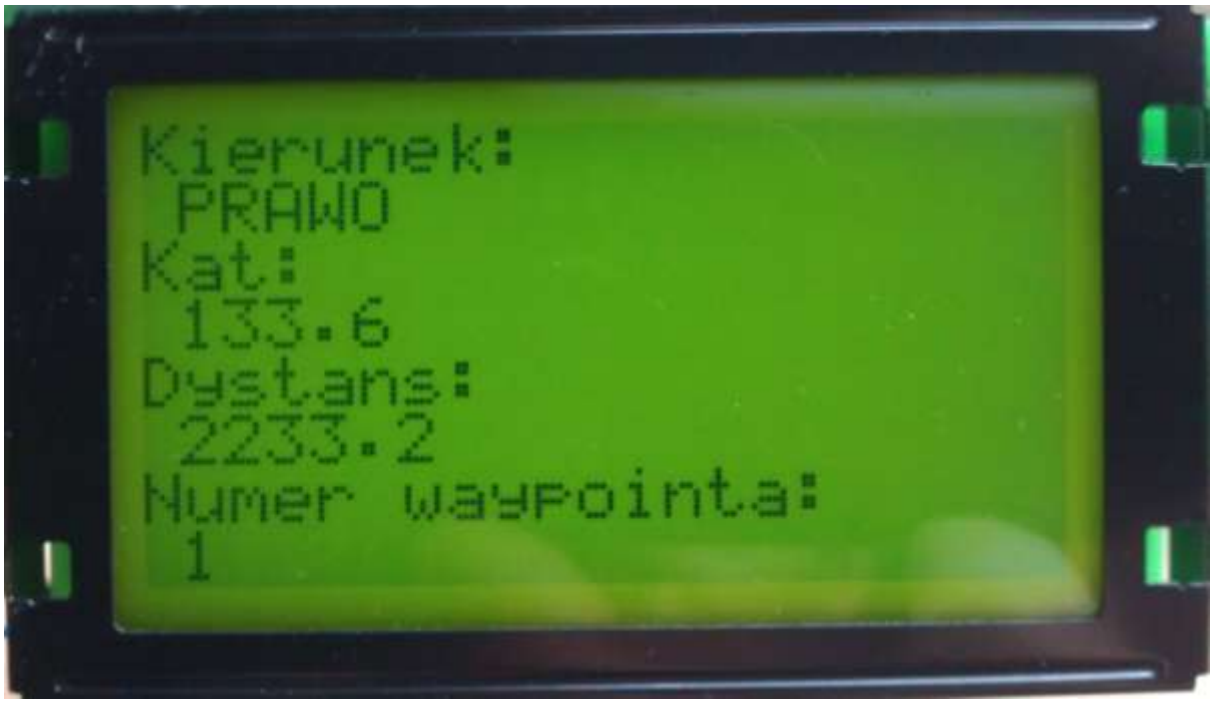




Pierwsze testy zweryfikowały dokładność dostarczanych przez moduł współrzędnych geograficznych. By sprawdzić, czy otrzymane dane są prawidłowe, wprowadzono je do programu komputerowego Google Earth w celu odzwierciedlenia koordynat na mapie. Wynik testu był pozytywny.

Poniżej znajduje się zdjęcie przedstawiające działanie programu w trybie Parser:

Kolejny test polegał na weryfikacji działania algorytmu nawigacyjnego. W tym celu na kartę SD zapisanych zostało kilka wcześniej wybranych punktów docelowych (tzw. waypointów), które w odpowiedniej kolejności należało osiągnąć. Te testy również przebiegły pomyślnie.
Poniżej znajduje się zdjęcie obrazujące działanie programu w trybie Navigation:



Moduł GPS w elektronicznym układzie Autopilota
Po przetestowaniu wszystkich funkcji modułu GPS, mogliśmy go dostosować do budowanego układu Autopilota, gdzie wykorzystano inny odbiornik GPS:

Czuły i szybki odbiornik GPS LEA-6S firmy U-Blox pozwala na ustalenie położenia platformy latającej w bardzo krótkim czasie. Moduły produkowane przez konkurencję pracują ze stosunkowo niską częstotliwością w porównaniu do modułu firmy U-Blox.
Najważniejsze cechy:

- Duża czułość
- Dokładność
- Programowalna częstotliwość aktualizacji
- Interfejsy UART, I^2C, USB
- Obsługa protokołów NMEA, UBX, RTCM
- Obudowa LLC28

2.4.2. <u>Obsługa i oprogramowanie systemu określającego orientację w przestrzeni (AHRS)</u>

Czujnik położenia (AHRS, ang. Attitude and Heading Reference Systems) – projektując płytę autopilota zespół High Flyers brał pod uwagę zastosowanie dwóch różnych czujników AHRS: minIMU9 oraz CH-R UM6.
Zestaw czujników pod nazwą minIMU9 był testowany już w poprzednich projektach koła naukowego, jednak ze względu na nietypowe zastosowanie, duże zapotrzebowanie na zasoby obliczeniowe jednostki sterującej oraz niską jakość pomiarów żyroskopu (wiarygodność pomiarów spadała wraz ze wzrostem drgań konstrukcji), zrezygnowano z zastosowania zestawu minIMU w układzie Autopilota. Dodatkowym atutem przemawiającym za modułem CH-R UM6, który zostanie poniżej opisany, było dostarczone oprogramowanie pozwalające na dowolne modyfikowane ramki danych i konfigurowanie trybu pracy modułu.
Moduł CHR UM-6 jest to zestaw czujników, pozwalający na otrzymanie kątów Eulera. Układ składa się z następujących czujników:

- LSM303DLH – akcelerometr i magnetometr
- L3G4200D – żyroskop
- MMC2120MG – magnetometr
- MXR9500M – akcelerometr

Najważniejsze cechy:

- Ze względu na zainstalowany niezależny mikrokontroler istnieje możliwość dowolnego modyfikowania otrzymywanej ramki danych
- Możliwość wyboru interfejsu komunikacyjnego (UART i SPI)
- Możliwość wyboru częstotliwości dostarczania danych (20 – 300 Hz)
- Niski pobór prądu
- Możliwość kompensacji żyroskopów
- Dokładność osi Yaw przynajmniej 5°
- Kąty Eulera dostarczane są w postaci 16-bitowych zmiennych
- Maksymalna prędkość kątowa ±2000°/s

2.4.3. <u>Wykonanie prób w locie</u>

Pierwsze testy w locie wykonanego modułu GPS, ale i również całego układu elektronicznego autopilota, zostały wykonane przy użyciu samolotu testowego widocznego na poniższym zdjęciu:

Na poniższym zdjęciu przedstawione jest działanie aplikacji GCS:

Program umożliwia podejrzenie trasy przebytej przez platformę latającą, a także zadanie jej konkretnych waypointów, co ściśle powiązane jest z działaniem modułu GPS.

3. Podsumowanie.

Możliwość udziału w projekcie *Autopilot I* była dla nas cennym doświadczeniem. Jednym z głównych czynników motywujących do pracy nad przedsięwzięciem był fakt, iż rezultaty naszych starań miały zostać wykorzystane do budowy bezzałogowego obiektu latającego biorącego udział w Międzyuczelnianych Inżynierskich Warsztatach Lotniczych w Bezmiechowej.

Utworzony przez nas układ elektroniczny autopilota docelowo ma umożliwić w pełni autonomiczny lot naszej platformy. Osiągnięcie w pełni autonomicznego lotu jest zadaniem niezmiernie skomplikowanym i stworzenie bezpiecznej procedury autopilota wymaga przeprowadzenia setek lotów testowych. Mając do dyspozycji platformę latajacą oraz autorską płytę autopilota w kolejnym projekcie będziemy mogli skupić się na automatyzacji lotu i przeprowadzeniu testów.

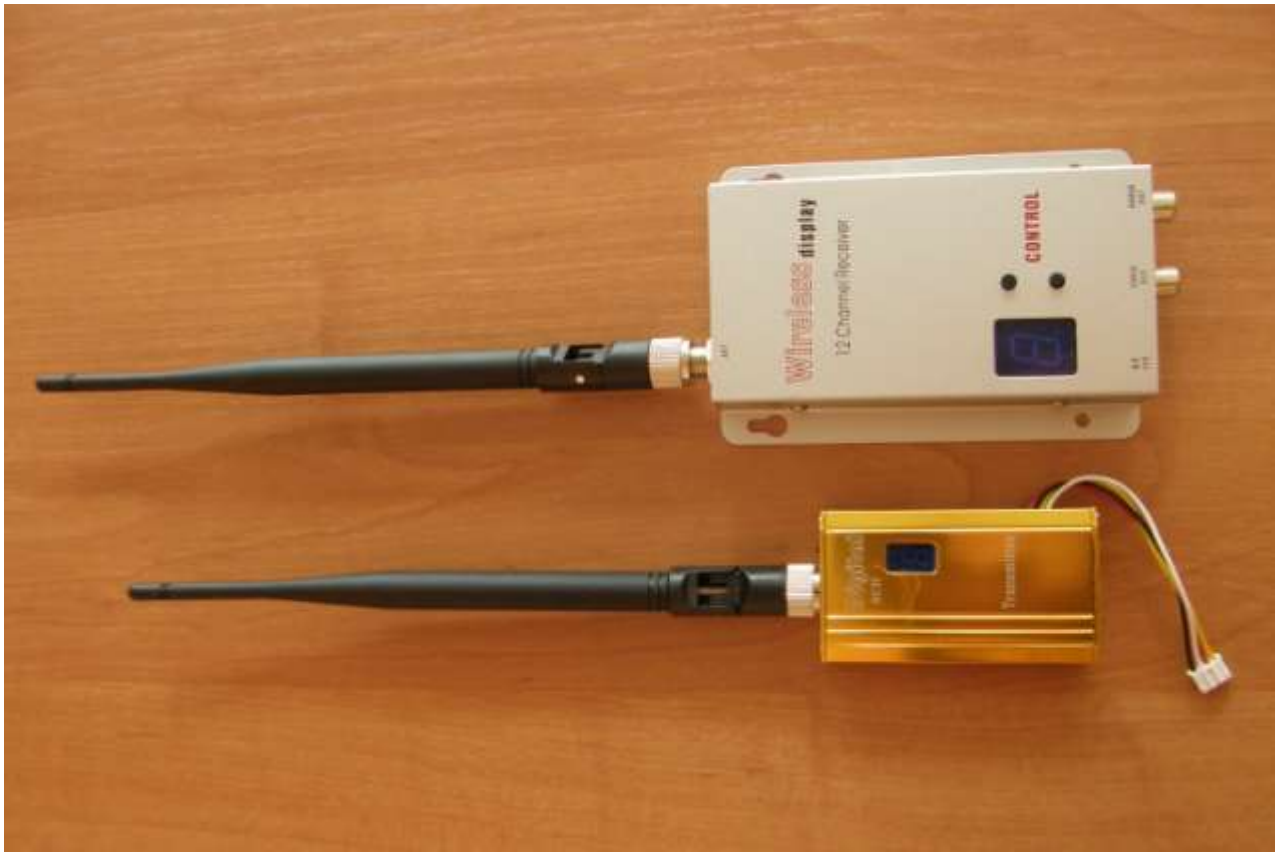
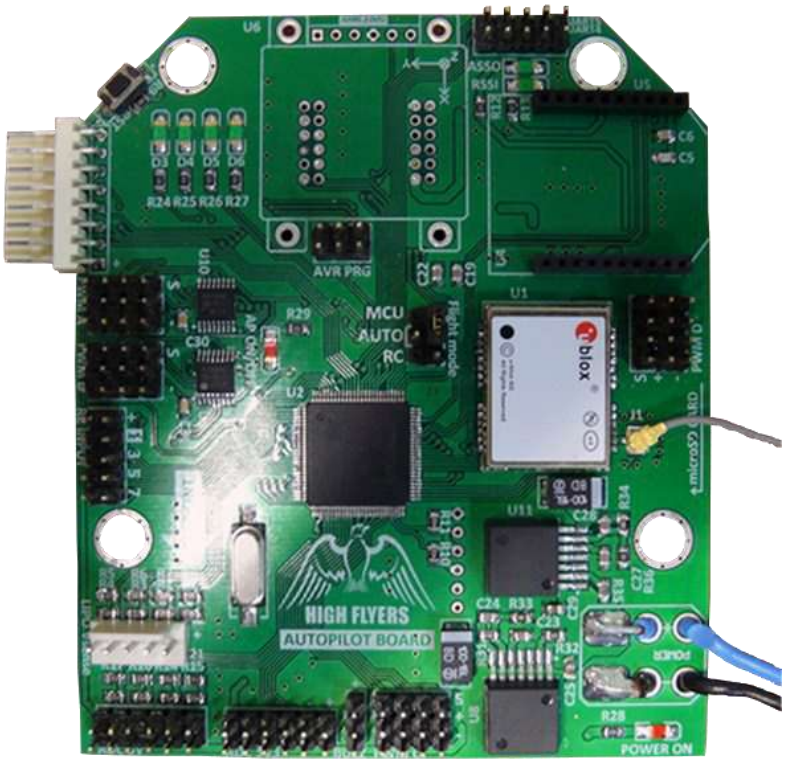
4. Zdjęcia zakupionych elementów niezbędnych do realizacji projektu.

4.1. Model motoszybowca EASY FLY wykonany z pianki EPP:

4.2. Rama do QUADROcoptera Hornet X4L-XL:

4.3. Motoszybowiec „POLSL HF-1 Orzeł” zawierający elementy zakupione w ramach realizacji projektu:

4.4. Bezprzewodowy link AV video 1,2GHz 1500mW:



4.5. Gotowa płyta układu elektronicznego autopilota: